



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 102 18 672 A 1**

⑤1 Int. Cl.<sup>7</sup>:  
**H 01 M 8/04**

②1 Aktenzeichen: 102 18 672.3  
②2 Anmeldetag: 26. 4. 2002  
④3 Offenlegungstag: 6. 11. 2003

DE 102 18 672 A 1

⑦1 Anmelder:

DaimlerChrysler AG, 70567 Stuttgart, DE; Ballard  
Power Systems AG, 70567 Stuttgart, DE

⑦2 Erfinder:

Buck, Michael, Dipl.-Ing. (FH), 75365 Calw, DE;  
Schütz, Jörg, Dipl.-Ing. (FH), 71640 Ludwigsburg,  
DE; Fickinger, Christoph, Dipl.-Ing (FH), 73265  
Dettingen, DE

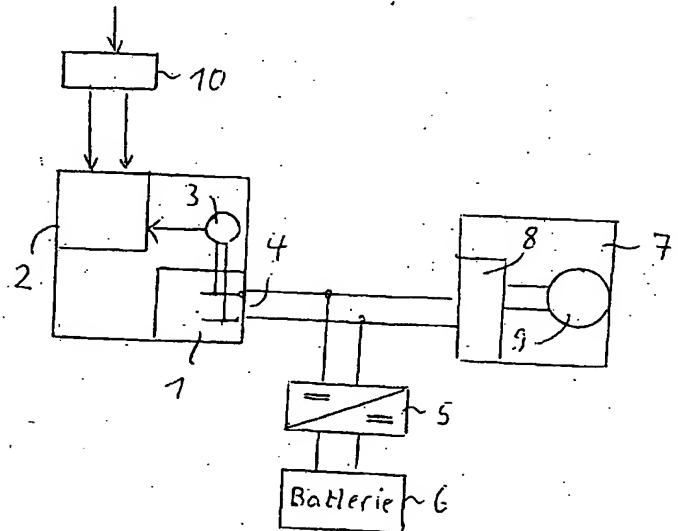
⑤5 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
zu ziehende Druckschriften:

DE 101 61 965 A1  
DE 100 55 291 A1  
US 57 14 874 A

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

⑤4 Verfahren und Anordnung zur Bestimmung des von einem Brennstoffzellensystem für eine angeforderte, elektrische Abgabeleistung zu erzeugenden Stroms

⑤7 Gegenstand der Erfindung sind ein Verfahren und eine Anordnung zur Bestimmung des von einem Brennstoffzellensystem für eine angeforderte, elektrische Abgabeleistung zu erzeugenden Stroms. Es werden iterativ mit dem vorgegebenen Wert der Leistung der für die Leistung notwendige Strom und die bei dem Strom vorhandene Brennstoffzellen-Ausgangsspannung bestimmt und das Brennstoffzellensystem entsprechend eingestellt.



DE 102 18 672 A 1

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren und eine Anordnung zur Bestimmung des von einem Brennstoffzellensystem für eine angeforderte, elektrische Abgabeleistung zu erzeugenden Stroms.

[0002] Brennstoffzellensysteme werden für die elektrische Energieversorgung von Verbrauchern auch in mobilen Einrichtungen eingesetzt. In mobilen Einrichtungen, z. B. Fahrzeugen oder Booten, können die Brennstoffzellen zur Versorgung von Verbrauchern verwendet werden, die bisher auf herkömmliche Weise von einer Lichtmaschine ihre Energie bezogen haben. Es werden aber auch Brennstoffzellensysteme zur Erzeugung der elektrischen Energie für die Antriebsmotoren der mobilen Einrichtungen benutzt.

[0003] Unter Brennstoffzellensysteme sind Systeme zu verstehen, die wenigstens eine Brennstoffzelle für die Erzeugung elektrischer Energie, Hilfsaggregate für den Betrieb der Brennstoffzelle sowie gegebenenfalls Mittel zur Erzeugung von Wasserstoff aus gasförmigen oder flüssigen Kohlenwasserstoffen und eine Steuereinheit aufweisen. Zu den Brennstoffzellensystemen sind im Sinne der vorstehenden Definition auch hybride Systeme zu rechnen, die sowohl die genannten Komponenten als auch eine Speicherbatterie enthalten. Die Speicherbatterie ist mit dem Ausgang der Brennstoffzelle verbunden. Im allgemeinen ist die Speicherbatterie in einem von der Brennstoffzelle gespeisten Netz neben elektrischen Verbrauchern, z. B. Motoren, Heizwiderständen, Lampen usw. angeordnet.

[0004] Häufig sind in mobilen Einrichtungen Verbraucher mit unterschiedlichen Nennspannungen vorhanden. Während Antriebsmotore für die mobilen Einrichtungen überwiegend für höhere Spannungen ausgelegt sind, die in der Größenordnung der von einem Stapel von Brennstoffzellenmodulen erzeugten Spannung liegen, weisen andere Verbraucher wie Lampen, Scheibenwischermotore, Schiebedachantriebsmotore, Fensterantriebsmotore, und dgl. eine niedrigere Spannung auf, die auf die Spannung der Speicherbatterie abgestimmt ist. Das Brennstoffzellensystem weist daher zumindest einen DC/DC-Wandler auf, der zwischen dem Netz mit der höheren Spannung und dem Netz mit der niedrigeren Spannung angeordnet ist, wobei im Netz mit der niedrigeren Spannung im allgemeinen die Speicherbatterie angeordnet ist. Insbesondere während der Bewegung der mobilen Einrichtungen wechseln die Anforderungen an das jeweilige Brennstoffzellensystem zur Abgabe der Ausgangsleistung. Beschleunigungs- und Bremsvorgänge verlangen unterschiedliche Ausgangsleistungen des Brennstoffzellensystems.

[0005] Es ist ein Verfahren zum Steuern einer Brennstoffzelle bekannt, bei dem die Änderung des Stroms der Brennstoffzelle bei einem Wechsel der Last durch eine Zeitverzögerung bestimmt wird (Patent Abstracts of Japan Nr. 03081968 A).

[0006] Bekannt ist auch ein Verfahren zum Betrieb eines Brennstoffzellensystems, das einen Reformer zur Erzeugung eines wasserstoffhaltigen Gases aus einem gasförmigen Kohlenwasserstoff aufweist, wobei das wasserstoffhaltige Gas mit einem Oxidanten in der Brennstoffzelle reagiert, die Strom an eine externe Last abgibt. Durch das Verfahren werden die von einem Stapel aus Brennstoffzellenmodulen erzeugte Spannung und der abgegebene Strom gemessen. Aus einer vorgegebenen Kennlinie für Strom und Spannung der Brennstoffzelle wird für den gemessenen Strom die zugehörige Spannung aus der Kennlinie ermittelt und der Unterschied der ermittelten Spannung mit der gemessenen Spannung bestimmt. Wenn die Differenz der Spannungen größer als ein vorab festgelegter Wert ist, wird

eine Meldung erzeugt (EP 1069 636 A2).

[0007] Der Erfindung liegt das Problem zugrunde, ein Verfahren und eine Anordnung zur schnellen Bestimmung des von einem Brennstoffzellensystem für eine angeforderte, elektrische Abgabeleistung zu erzeugenden Strom zu entwickeln.

[0008] Das Problem wird bei einem Verfahren der eingangs beschriebenen Art erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß jeweils bei einer angeforderten Änderung der vom Brennstoffzellensystem abzugebenden Leistung in einem Strom-Spannungs-Bestimmungsschritt aus dem Quotienten des Werts der angeforderten Leistung und dem zum Zeitpunkt der angeforderten Leistung am Brennstoffzellenausgang gemessenen Spannungswert ein Stromwert berechnet und dem Brennstoffzellensystem zur Einstellung der Leistung zugeführt sowie ein für diesen Stromwert maßgebender Spannungswert des Brennstoffzellenausgangs bestimmt wird, daß in einem darauffolgenden Vergleichsschritt der maßgebende Spannungswert mit dem gemessenen Spannungswert verglichen wird, daß bei Übereinstimmung der Spannungswerte innerhalb vorgebar Grenzen kein weiterer Schritt zur Einstellung der angeforderten Leistung mehr ausgeführt wird und daß bei Nichtübereinstimmung iterativ abwechselnd Strom-Spannungs-Bestimmungsschritte, in denen jeweils der Wert der angeforderten Leistung durch den im letzten vorhergehenden Strom-Spannungs-Bestimmungsschritt bestimmten Spannungswert zur Berechnung eines dem Brennstoffzellensystem zuzuführenden Stromwerts dividiert sowie ein für diesen Stromwert maßgebender Spannungswert des Brennstoffzellenausgangs ermittelt wird, und Vergleichsschritte zur Erfassung der Übereinstimmung zwischen den in den letzten beiden vorhergegangenen Strom-Spannungs-Bestimmungsschritten ermittelten Spannungswerten so lange durchgeführt werden, bis Übereinstimmung festgestellt wird.

[0009] Unter Zufuhr des Stromwerts ist hierbei zu verstehen, daß Stellglieder des Brennstoffzellensystems, mit denen die Ausgangsleistung der Brennstoffzelle eingestellt wird, mit dem entsprechenden Sollwert bzw. den Sollwerten des Stroms beaufschlagt werden. Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren kann bei einer gewünschten Änderung der vom Brennstoffzellensystem abzugebenden Leistung, der sog. Zielleistung, in wenigen Schritten der Zielstrom, der zusammen mit der bei diesem Strom auftretenden Brennstoffzellenausgangsspannung die Zielleistung erzeugt, bestimmt werden. Der bei der Zielleistung sich einstellende Strom ist hierbei Zielstrom genannt. Durch die schnelle bzw. weniger Zeit benötigende Bestimmung des Zielstroms steht die Zielleistung in kürzerer Zeit zur Verfügung!

[0010] Vorzugsweise wird die für einen berechneten Stromwert maßgebende Spannung des Brennstoffzellenausgangs aus der gespeicherten Spannungs-Strom-Kennlinie der Brennstoffzelle bestimmt. Die Ausgangsspannung der Brennstoffzelle als Funktion des Ausgangsstroms wird beispielsweise im Probetrieb gemessen und gespeichert. Während des normalen Betriebs wird die zu einem Stromwert gehörende Ausgangsspannung aus der gespeicherten Kennlinie ausgelesen.

[0011] Bei einer besonders bevorzugten Ausführungsform wird der zu einem berechneten Stromwert maßgebende Spannungswert der Brennstoffzelle jeweils von Strom-Spannungs-Bestimmungsschritt zu Strom-Spannungs-Bestimmungsschritt aus der gespeicherten Spannungs-Strom-Kennlinie der Brennstoffzelle und durch Messung der Ausgangsspannung der Brennstoffzelle bestimmt, wobei der aus der Kennlinie entnommene Wert der Ausgangsspannung mit einem Kennlinien-Gewichtungsfaktor multipliziert wird, der der Quotient aus der Differenz des aus der angeforderten

Leistung und der Spannung ermittelten Stromsollwerts und dem am Brennstoffzellenausgang gemessenen Stromistwerts und dem Stromsollwert ist, und wobei der Messwert der Ausgangsspannung mit einem weiteren Gewichtungsfaktor multipliziert wird, der die Differenz zwischen dem Wert eins und dem Kennlinien-Gewichtungsfaktor ist. Das Brennstoffzellensystem reagiert mit einer gewissen Trägheit auf sprungförmige Änderungen der angeforderten Leistung. Aufgrund von Zeitkonstanten des Brennstoffzellensystems stellt sich bei der Beaufschlagung des Brennstoffzellensystems bzw. dessen Stellgliedern mit einem geänderten Strom-Sollwert dieser und die zugehörige Ausgangsspannung erst nach einer Zeitverzögerung ein. Dieses Zeitverhalten des Brennstoffzellensystems wird vorab ermittelt und daraus das zeitliche Verhalten der Gewichtung für den Messwert der Ausgangsspannung bestimmt.

[0012] Insbesondere wird der Kennlinien Gewichtungsfaktor in Abhängigkeit vom Quotienten aus der Differenz des aus der angeforderten Leistung und der Spannung ermittelten Stromsollwerts und dem am Brennstoffzellenausgang gemessenen Stromistwert bestimmt. Mit dieser Maßnahme wird berücksichtigt, dass bei kleinen Stromänderungen der Kennlinien-Gewichtungsfaktor kleiner ist als bei großen Stromänderungen. Der Gewichtungsfaktor kann zweckmäßigerweise bei geringen Änderungen der Stromanforderung bis zu einem bestimmten Wert null sein, ab dieser Stromänderung linear bis zu einer großen Stromänderung ansteigen und danach den Wert eins haben.

[0013] Bei einer Anordnung der eingangs beschriebenen Art wird das Problem erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass in einer Brennstoffzellen-Steuereinheit eines Brennstoffzellensystems, das eine aus Brennstoffzellen-Modulen bestehende Brennstoffzelle mit Hilfsaggregaten, einen Reformer, Stellglieder für die Steuerung der Leistung der Brennstoffzelle und einen mit dem Brennstoffzellen-Ausgang verbundenen Spannungssensor enthält, ein Programm gespeichert ist, das aus durch Division eines in die Brennstoffzellen-Steuereinheit eingegebenen Werts einer Leistung und eines mit dem Spannungssensor gemessenen und/oder aus einer Spannungs-Strom-Kennlinie der Brennstoffzelle ermittelten Spannungswerts einen Stromwert bestimmt, der gegebenenfalls nach Korrektur durch einen Stromwert, der bei Vorhandensein einer Speicherbatterie im Brennstoffzellensystem vorzeichenrichtig hinzugefügt wird, den Stellgliedern der Brennstoffzelle zugeführt wird, daß das Programm Anweisungen zur iterativen Bestimmung des für den Stromwert maßgebenden Werts der Ausgangsspannung der Brennstoffzelle und zur Prüfung der gemessenen und/oder aus der Spannungs-Strom-Kennlinie der Brennstoffzelle ermittelten Spannungswerte auf Übereinstimmung innerhalb vorgegebener Toleranzen aufweist und daß Anweisungen im Programm zur Aufrechterhaltung des zuletzt an die Stellglieder ausgegebenen Stromwerts bei Feststellung der Übereinstimmung vorgesehen sind. Die erfindungsgemäße Anordnung erlaubt einen schnelleren Übergang von einer im Augenblick ausgegebenen Leistung der Brennstoffzelle zu einer anderen, von außen angeforderten Leistung, die z. B. für den Betrieb von Motoren mit höherer Leistung benötigt wird. Weiterhin wird der Gefahr von Stack-Unterspannungen vorgebeugt. Die Spannungs-Strom-Kennlinie der Brennstoffzelle wird durch Versuche ermittelt und in der Brennstoffzellen-Steuereinheit gespeichert.

[0014] Insbesondere enthält die Brennstoffzellen-Steuereinheit eine Anordnung zur abwechselnden Verwendung des am Brennstoffzellen-Ausgang gemessenen Werts der Spannung und des aus der Kennlinie für einen berechneten Stromwert ausgelesenen Spannungswerts für die Bildung eines Divisors für die Berechnung eines jeweils neuen Strom-

werts mit dem iterativen Verfahren. Dabei ist es zweckmäßig, wenn der gemessene Spannungswert und der Kennlinien-Spannungswert je mit einem von der Dynamik des Brennstoffzellensystems abhängigen Faktor gewichtet werden. Diese Faktoren kann durch Versuch ermittelt werden. Es lassen sich damit Kennlinien-ungenauigkeiten ausgleichen.

[0015] Die Erfindung wird im folgenden an Hand eines in einer Zeichnung dargestellten Ausführungsbeispiels näher beschrieben, aus dem sich weitere Einzelheiten, Merkmale und Vorteile ergeben.

[0016] Es zeigen:

[0017] Fig. 1 ein Blockschaltbild einer Anordnung eines Brennstoffzellensystems mit einem daran angeschlossenen Netz,

[0018] Fig. 2 eine Einzelheit der in Fig. 1 dargestellten Anordnung,

[0019] Fig. 3 ein Diagramm der Ausgangsspannung einer Brennstoffzelle in Abhängigkeit vom Ausgangsstrom,

[0020] Fig. 4 ein Diagramm des typischen zeitlichen Verlaufs einer Stromanforderung und der zugehörigen Strombereitstellung in einem Brennstoffzellensystem und

[0021] Fig. 5 ein Diagramm eines prozentualen Gewichtungsfaktors in Abhängigkeit vom Quotienten aus der Differenz eines Stromsollwerts und eines Stromistwerts und einem maximalen Stromsollwert.

[0022] Ein Brennstoffzellensystem enthält eine Brennstoffzelle 1 mit Hilfsaggregaten, einem Reformer, Stellgliedern für die Einstellung der Leistung der Brennstoffzelle, einer Brennstoffzellen-Steuereinheit 2 für die elektrischen Komponenten des Brennstoffzellensystems und einem Spannungssensor 3, der mit dem Ausgang 4 der Brennstoffzelle 1 verbunden ist. Weiterhin ist ein Stromsensor 3a für die Messung der Ausgangsströme der Brennstoffzelle mit der Brennstoffzellen-Steuereinheit 2 verbunden. Die Hilfsaggregate für die Brennstoffzelle, der Reformer und die Stellglieder zur Einstellung der Leistung sind an sich bekannt und nicht in der Zeichnung dargestellt. An den Ausgang 4 ist ein DC/DC-Wandler 5 mit nachgeschalteter Speicherbatterie 6 angeschlossen. Weiterhin steht eine Antriebseinheit 7, die als Beispiel für elektrische Verbraucher in der Zeichnung dargestellt ist, mit dem Ausgang 4 in Verbindung.

[0023] Die Antriebseinheit 7 enthält einen DC/DC-Wandler 8, dem ein Motor 9 nachgeschaltet ist. Mit Eingängen der Brennstoffzellen-Steuereinheit 2 ist eine Eingabe-Einheit 10 verbunden, bei der es sich um eine übergeordnete Steuereinheit handeln kann, die für die Einstellung der Leistung des Motors 9 maßgebend ist.

[0024] Die Eingabe-Einheit 10 bestimmt aus Eingabeanforderungen, die z. B. von einem Sensor kommen können, die von der Brennstoffzelle 2 an die Antriebseinheit 7 abzugebende Gleichstromleistung nach der Formel:

$$P = U \cdot I, \text{ worin}$$

mit P die Leistung, mit U die Ausgangsspannung und mit I der Ausgangsstrom der Brennstoffzelle 1 bezeichnet sind. Der Wert der Leistung P wird der Brennstoffzellen-Steuereinheit 2 zugeführt, die aus der Leistung P nach der Formel  $I = P/U$  den von der Brennstoffzelle 1 bei der sich einstellenden Brennstoffzellen-Ausgangsspannung abgegebenen Strom berechnet.

[0025] Die Brennstoffzelle 1 besteht aus einem Stack von Brennstoffzellen-Modulen. Die Ausgangsspannung der Brennstoffzelle ist abhängig vom Ausgangsstrom und sinkt mit zunehmendem Ausgangsstrom. Eine typische Kennlinie der Spannung U am Ausgang der Brennstoffzelle 1 als

Funktion des Stroms 7 der Brennstoffzelle ist in Fig. 3 dargestellt. Mit 11 ist in Fig. 3 die theoretische und mit 12 die praktische Kennlinie der Brennstoffzelle 1 bezeichnet. Die Stellglieder des Brennstoffzellensystems werden von der Steuereinheit 2 mit dem Stromsollwert beaufschlagt. Es ist daher bei einer Änderung der angeforderten Leistung ein entsprechender neuer Stromsollwert zu bestimmen. Dieser Stromsollwert muß in Übereinstimmung mit der dann von der Brennstoffzelle 1 abgegebenen Spannung die gewünschte Leistung ergeben, die als Zielleistung bezeichnet wird. Der bei der Zielleistung von der Brennstoffzelle 1 abgegebene Strom wird als Zielstrom bezeichnet.

[0026] Wenn eine bereits von der Brennstoffzelle 1 abgegebene Leistung durch eine entsprechende Anforderung z. B. sprungförmig geändert werden soll, wird von der Brennstoffzellen-Steuereinheit 2 ein Verfahrensschritt ausgeführt, der als Strom-Spannungs-Bestimmungsschritt bezeichnet wird. Der Strom-Spannungs-Bestimmungsschritt setzt sich aus einem Rechenvorgang, in dem ein Strom berechnet wird, und einer Bestimmung des diesem Strom zugeordneten Werts der Spannung am Ausgang der Brennstoffzelle 1 zusammen. Im Rechenvorgang wird nach folgender Formel:

$$I_{\text{Ziel}} = P_{\text{Ziel}} / U(I_{\text{Ziel}}, t)$$

ein erster Wert des Zielstroms aus dem Quotienten der Zielleistung und der zum Zeitpunkt der Änderung bzw. Vorgabe eines neuen Zielleistungswerts am Ausgang der Brennstoffzelle 1 gemessenen Spannung  $U(I_{\text{Ziel}}, t)$  berechnet und den Stellgliedern der Brennstoffzelle zugeführt. Zu diesem Zielstrom wird dann der Wert der Ausgangsspannung der Brennstoffzelle 1 bestimmt. Diese Spannung wird als maßgebende Spannung bezeichnet. Die maßgebende Spannung wird insbesondere aus der Spannungs-Strom-Kennlinie der Brennstoffzelle bestimmt. Die Kennlinie wird durch Versuche vorab ermittelt und dann gespeichert. Die Bestimmung des Werts der Spannung geschieht durch Auslesen des dem jeweiligen Stromwert zugeordneten Spannungswerts der Kennlinie. Wenn der Strom-Spannungs-Bestimmungsschritt beendet ist, schließt sich ein Vergleichsschritt an, der von der Brennstoffzellen-Steuereinheit 2 ausgeführt wird. Im ersten Vergleichsschritt nach der Vorgabe eines neuen Leistungswerts wird die am Brennstoffzellenausgang gemessene Spannung mit der aus der Kennlinie ausgelesenen Spannung verglichen, d. h. auf Übereinstimmung oder Abweichung geprüft. Übereinstimmung bedeutet, daß eine Abweichung über eine vorgegebene Toleranz hinaus nicht überschritten werden darf. Die Prüfung kann in der Subtraktion des einen vom anderen Spannungswert bestehen, wobei die Differenz auf größer oder gleich in Bezug auf den Toleranzwert geprüft wird. Wird im ersten Vergleichsschritt bereits Übereinstimmung der Spannungswerte festgestellt, dann bleibt der ermittelte Zielstrom als Sollwert für die Stellglieder erhalten. Wird Nichtübereinstimmung festgestellt, schließt sich wenigstens ein weiterer Strom-Spannungs-Bestimmungsschritt und ein folgender Vergleichsschritt an. Es wird dann im Strom-Spannungs-Bestimmungsschritt ein neuer Zielstromwert  $I_{\text{Ziel}}(n+1)$  als Quotient aus der Zielleistung  $P_{\text{Ziel}}$  und der aus der Kennlinie bestimmten Ausgangsspannung im ersten Strom-Spannungs-Bestimmungsschritt wie folgt berechnet:

$$I_{\text{Ziel}}(n+1) = P_{\text{Ziel}} / U(I_{\text{Ziel}}, n, t).$$

[0027] Dieser Zielstrom wird als Sollwert den Stellgliedern zugeführt. Danach folgt ein Vergleichsschritt, in dem die Spannung  $U(I_{\text{Ziel}}, (n), t)$  mit der aus der Kennlinie neu

ausgelesenen Spannung  $U(I_{\text{Ziel}}, (n+1), t)$  auf Übereinstimmung geprüft wird.

[0028] Wird Übereinstimmung festgestellt, dann wird der im Strom-Spannungs-Bestimmungsschritt berechnete und an die Stellglieder ausgegebene Zielstrom bis zu einer erneuten Änderung, d. h. Vergrößerung oder Verkleinerung, der angeforderten Leistung aufrecht erhalten. Ergibt die Prüfung Nichtübereinstimmung, dann schließt sich sofort ein weiterer Strom-Spannungs-Ver-Bestimmungsschritt an. Strom-Spannungs-Bestimmungsschritte und gleichsschritte werden so lange fortgesetzt, bis die Übereinstimmung der Spannungswerte festgestellt wird, d. h. zu der Zielleistung werden der Zielstrom und die bei diesem Zielstrom von der Brennstoffzelle 1 abgegebene Spannung iterativ bestimmt.

[0029] Bei mehreren iterativen Verfahrensschritten ist es günstig, bei den Strom-Spannungs-Bestimmungsschritten als Divisor zur dem Zielstrom-Bestimmung abwechselnd den aus der Spannungs-Strom-Kennlinie der Brennstoffzell ausgelesenen Spannungswert und die am Brennstoffzellenausgang gemessene Spannung zu verwenden und zu gewichten. Letztere entspricht aufgrund der Trägheit des Brennstoffzellensystems, d. h. der Zeitverzögerung zwischen der Beaufschlagung der Stellglieder mit Zielstromwerten und der Angabe des Zielstroms durch die Brennstoffzelle 1 nicht genau der Spannung, die die Brennstoffzelle 1 zum Zeitpunkt der Berechnung des Zielstromwerts abgibt. Der aus der Kennlinie bestimmte Spannungswert und der gemessene Spannungswert werden gewichtet. Die Gewichtung, im folgenden auch Wichtung genannt, wird im folgenden näher erläutert:

Die Wichtung der Spannungswerte ist von Betriebszuständen abhängig, die sich regelungstechnisch beschreiben lassen:

1. Vom zeitlichen Verlauf der Ausgangsgrößen des verzögerungsbehafteten Brennstoffzellensystems, d. h. das Maß der Verzögerung und der jeweilige Quotient zwischen Ausgangs- und Eingangsgröße bei Betrachtung der Brennstoffzelle als Verzögerungsglied, was sich aus dem in Fig. 4 dargestellten zeitlichen Verlauf des Ausgangsstroms der Brennstoffzelle bei einer sprungförmigen Änderung des angeforderten Stroms ergibt.
2. Von der Höhe der Änderung des Stromsollwerts.

[0030] Die Dynamik des Brennstoffzellensystems wird mit Hilfe eines Verzögerungsglieds  $n$ -ter Ordnung beschrieben. Das in Fig. 4 dargestellte Verzögerungsverhalten wird modelliert. Mit dem Modell stehen der als Eingangsgröße aus der angeforderten Leistung bestimmten Stromanforderung bzw. dem Stromsollwert  $I_{\text{soll}}$  der bereitgestellte Ausgangsstrom  $I_{\text{ist}}$  gegenüber. Die Wichtungen der Kennlinienspannung  $U_{\text{kennl}}$  und der gemessenen Spannung  $U_{\text{mess}}$  der Brennstoffzelle 1 werden wie folgt bestimmt:

Wird mit  $WU_{\text{kennl}}$  die Wichtung der Kennlinienspannung und mit  $WU_{\text{mess}}$  die Wichtung der gemessenen Spannung bezeichnet, dann gilt:

$$WU_{\text{kennl}} = 1 - (I_{\text{soll}} - I_{\text{ist}}) / I_{\text{soll}}$$

$$WU_{\text{mess}} = 1 - WU_{\text{kennl}}$$

[0031] Die Betragsstriche in der Gleichung für  $WU_{\text{kennl}}$  sind fakultativ, wenn sichergestellt ist, dass  $I_{\text{soll}} - I_{\text{ist}}$  nicht negativ werden kann, beispielsweise beim Abbremsen eines Fahrzeugs, welches mit einem Brennstoffzellensystem angetrieben wird, bzw. wenn sichergestellt ist, dass kein Stromfluss in die Brennstoffzelle bzw. das Brennstoffzellen-Modul hinein erfolgen kann.

[0032] Damit ergibt sich die maßgebende Spannung:

$$U_{\text{maß}} = (WU_{\text{kennl}} \cdot U_{\text{kennl}}) + (WU_{\text{mess}} \cdot U_{\text{mess}})$$

[0033] Wenn, was im allgemeinen der Fall ist, die Genauigkeit der Kennlinie begrenzt ist, ist es günstig, bei kleinen Änderungen der Stromanforderung, d. h. der Differenz zwischen dem Stromsollwert und dem Stromistwert, die Kennlinienspannung nicht zu hoch zu gewichten. Die Wichtung der Kennlinienspannung hat nach den oben angegebenen Formeln zu dem in Fig. 4 dargestellten Zeitpunkt  $t_1$  groß zu sein. Deshalb ist bei der Wichtung die Größe der Stromänderung zu berücksichtigen. Es wird also nur bei signifikanten Änderungen der Stromanforderung die Kennlinienspannung hoch gewichtet. Der von der Größe der Stromänderung abhängige Wichtungsfaktor wird zweckmäßigerweise nach einer Kennlinie bestimmt. Eine solche Kennlinie ist in Fig. 5 dargestellt. Die Fig. 5 zeigt den prozentualen, zusätzlichen Wichtungsfaktor  $W_{\text{änd}}$  in Abhängigkeit von dem Verhältnis zwischen der Differenz zwischen dem Stromsollwert  $I_{\text{soll}(t_1)}$  zum jeweiligen mit  $t_1$  bezeichneten Zeitpunkt und dem Stromistwert  $I_{\text{ist}(t_1)}$  zum gleichen Zeitpunkt  $t_1$  und dem maximal zulässigen Stromsollwert  $I_{\text{max}}$ . Die maximal mögliche Änderung des Sollwerts ergibt sich aus der Charakteristik der Brennstoffzelle und wird vorab festgelegt.

[0034] Für die Wichtung der Kennlinienspannung gilt:

$$W_{\text{änd}, U_{\text{kennl}}} = W_{\text{änd}} \cdot WU_{\text{kennl}}$$

Für die Wichtung der gemessenen Spannung gilt:

$$W_{\text{änd}, U_{\text{mess}}} = 1 - W_{\text{änd}, U_{\text{kennl}}}$$

[0035] Die maßgebende Wichtung für die aus der Kennlinie ermittelte und die gemessene Spannung ist dann:

$U_{\text{änd}, \text{maß}} = (W_{\text{änd}, U_{\text{kennl}}} \cdot U_{\text{kennl}}) + (W_{\text{änd}, U_{\text{mess}}} \cdot U_{\text{mess}})$ , worin mit  $U_{\text{änd}, \text{maß}}$  die für die Bestimmung der Stromanforderung relevante Spannung unter Berücksichtigung der Änderungsgröße der Stromanforderung, mit  $W_{\text{änd}, U_{\text{kennl}}}$  die Wichtung der Kennlinienspannung unter Berücksichtigung der Änderung der Stromanforderung zum Zeitpunkt  $t_1$  und mit  $W_{\text{änd}, U_{\text{mess}}}$  die Wichtung der gemessenen Spannung unter Berücksichtigung der Änderung der Stromanforderung zum Zeitpunkt  $t_1$  bezeichnet sind. Die Fig. 5 zeigt eine Kennlinie 20 des Wichtungsfaktors  $W_{\text{änd}}$ , die im Abschnitt mit kleinen Stromänderungen null ist, dann linear bis zu großen Stromänderungen auf den Wert 1 ansteigt und bei großen Stromänderungen den Wert 1 beibehält.

[0036] Durch den Wechsel zwischen der aus der Kennlinie ausgelesenen und der gemessenen Ausgangsspannungen und deren Wichtung nach der vorstehend angegebenen Formel lassen sich Ungenauigkeiten der Kennlinie ausgleichen.

[0037] Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren werden bei einer Änderung der von der Brennstoffzelle auf eine externe Anforderung hin abzugebenden Leistung der Zielstrom und die zugehörige Ausgangsspannung in kürzerer Zeit erreicht. In Fig. 4 ist dies in einem Diagramm veranschaulicht, das Stromwerte in Abhängigkeit von ihrem zeitlichen Verlauf zeigt. Zum Zeitpunkt  $t_0$  beaufschlagt die Eingabe-Einheit die Brennstoffzellen-Steuereinheit 2 mit einem Leistungssprung, worauf die Steuereinheit in kürzer Zeit  $t_1$  die Stromanforderung an die Stellglieder ausgibt. Der Verlauf der Stromanforderung ist in Fig. 4 mit 13 bezeichnet. Aus dieser Stromanforderung 13 ergibt sich ein Verlauf des Ausgangsstroms der Brennstoffzelle 1, der mit 14 bezeichnet ist.

[0038] Ohne das erfindungsgemäße Verfahren würde die Höhe des für die Abgabe der angeforderten Leistung notwendigen Stroms nicht so schnell erhalten werden. Es würde sich ein mit 15 bezeichneter Verlauf ergeben, wo-

durch sich der in Fig. 4 mit 16 bezeichnete Verlauf der Strombereitstellung ergeben würde, d. h. die Bereitstellung des angeforderten Stroms dauerte länger. Mit dem Zielstrom werden Stellglieder für die Erzeugung des Gasstroms beaufschlagt. Die Gaserzeugung erfolgt mit dem oben beschriebenen Verfahren schneller und genauer.

[0039] Die Fig. 1 zeigt ein hybrides Stromerzeugungssystem mit einer Speicherbatterie. Bei der Anforderung des Zielstroms ist der von der Batterie geleistete Strombeitrag zu subtrahieren. Umgekehrt ist bei einer Ladeanforderung der Ladestrom zu addieren. Eine Anordnung zur Bestimmung des Zielstroms ist in Fig. 2 dargestellt. Der Wert der Zielleistung wird als Dividend einem Dividierer 17 zugeführt, dessen Divisoreingang bei den Strom-Spannungsbestimmungsschritten über eine Wichtungs- bzw. Gewichtungseinrichtung 18 abwechselnd von einem Speicher 19 mit der Kennlinie die Werte der Brennstoffzellenausgangsspannung oder direkt die Messwerte der Brennstoffzellenausgangsspannung zugeführt werden. Die Einrichtung 18 führt die oben beschriebenen Schritte zur Wichtung der Spannungswerte durch und gibt den gewichteten Wert  $U_{\text{änd}, \text{maß}}$  an den Dividierer weiter. Am Ausgang des Dividierers 17 stehen die Werte des Zielstroms zur Verfügung.

[0040] Die Erfindung läßt sich vorteilhafterweise bei mobilen Einrichtungen wie Automobilen oder Booten, die als Energiequellen Brennstoffzellen haben, einsetzen.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur Bestimmung des von einem Brennstoffzellensystem für eine angeforderte, elektrische Abgabeleistung zu erzeugenden Stroms, dadurch gekennzeichnet, daß jeweils bei einer angeforderten Änderung der vom Brennstoffzellensystem abzugebenden Leistung in einem Strom-Spannungs-Bestimmungsschritt aus dem Quotienten des Werts der angeforderten Leistung und dem zum Zeitpunkt der angeforderten Leistung am Brennstoffzellenausgang gemessenen Spannungswert ein Stromwert berechnet und dem Brennstoffzellensystem zur Einstellung der Leistung zugeführt wird sowie ein für diesen Stromwert maßgebender Spannungswert des Brennstoffzellen-Ausgangs bestimmt wird, daß in einem darauffolgenden Vergleichsschritt der maßgebende Spannungswert mit dem gemessenen Spannungswert verglichen wird, daß bei Übereinstimmung der Spannungswerte innerhalb vorgegebener Grenzen kein weiterer Schritt zur Einstellung der angeforderten Leistung mehr ausgeführt wird und daß bei Nichtübereinstimmung iterativ abwechselnd Strom-Spannungs-Bestimmungsschritte, in denen jeweils der Wert der angeforderten Leistung durch den im letzten vorhergehenden Strom-Spannungs-Bestimmungsschritt bestimmten Spannungswert zur Berechnung eines dem Brennstoffzellensystem zuzuführenden Stromwerts dividiert sowie ein für diesen Stromwert maßgebender Spannungswert des Brennstoffzellenausgangs ermittelt wird, und Vergleichsschritte zur Erfassung der Übereinstimmung zwischen den in den jeweils letzten vorhergegangenen beiden Strom-Spannungs-Bestimmungsschritten ermittelten Spannungswerten so lange durchgeführt werden, bis Übereinstimmung festgestellt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die für einen berechneten Stromwert maßgebende Spannung am Brennstoffzellenausgang aus der gespeicherten Spannungs-Strom-Kennlinie der Brennstoffzelle bestimmt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet,

zeichnet, daß der zu einem berechneten Stromwert maßgebende Spannungswert der Brennstoffzelle jeweils von Strom-Spannungs-Bestimmungsschritt zu Strom-Spannungs-Bestimmungsschritt aus der Spannungs-Strom-Kennlinie der Brennstoffzelle und durch Messung der Ausgangsspannung der Brennstoffzelle bestimmt wird, dass der aus der Kennlinie erhaltene Wert der Ausgangsspannung mit einem Kennlinien-Gewichtsfaktor multipliziert wird, der das Verhältnis des aus der Differenz des mittels der angeforderten Leistung bestimmten Stromsollwerts und des gemessenen Stromistwerts und dem Stromistwert enthält, und dass der Meßwert der Ausgangsspannung mit einem Faktor multipliziert wird, der die Differenz des Kennlinien-Gewichtsfaktors vom Wert eins ist.

4. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Kennlinien-Gewichtsfaktor in Abhängigkeit vom Verhältnis zwischen dem gemäß der angeforderten Leistung zum jeweiligen Zeitpunkt bestimmten Stromsollwert und dem gemessenen Stromistwert und einem maximal vorgegebenen Stromsollwert bestimmt wird.

5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen dem Kennlinien-Gewichtsfaktor und dem Verhältnis eine nichtlineare Beziehung besteht, nach der der Kennlinien-Gewichtsfaktor im Bereich kleiner Änderungen der Stromanforderung von null linear bis zum Wert eins im Bereich großer Änderungen der Stromanforderung ansteigt.

6. Anordnung zur Bestimmung des von einem Brennstoffzellensystem für eine angeforderte, elektrische Abgabeleistung zu erzeugenden Stroms, dadurch gekennzeichnet, daß in einer Brennstoffzellen-Steuereinheit (2) eines Brennstoffzellensystems, das eine aus der Brennstoffzellen-Modulen bestehende Brennstoffzelle (1) mit Hilfsaggregaten, einen Reformer, Stellgliedern für die Steuerung der Leistung der Brennstoffzelle, und einen mit dem Brennstoffzellen-Ausgang verbundenen Spannungssensor (3) enthält, ein Programm gespeichert ist, das aus durch Division eines in die Brennstoffzellen-Steuereinheit (2) eingegebenen Werts einer Leistung und eines mit dem Spannungssensor gemessenen und/oder aus einer Spannungs-Strom-Kennlinie der Brennstoffzelle (1) ermittelten Spannungswerts einen Stromwert bestimmt, der gegebenenfalls nach Korrektur durch einen Stromwert, der bei Vorhandensein einer Speicherbatterie im Brennstoffzellensystem vorzeichenrichtig hinzugeführt wird, den Stellgliedern der Brennstoffzelle zugeführt wird, daß das Programm Anweisungen zur iterativen Bestimmung des für den Stromwert maßgebenden Werts der Ausgangsspannung der Brennstoffzelle und zur Prüfung der gemessenen und/oder aus der Spannungs-Strom-Kennlinie der Brennstoffzelle ermittelten Spannungswerte auf Übereinstimmung der Spannungswerte innerhalb vorgegebener Toleranzen aufweist und daß Anweisungen im Programm zur Aufrechterhaltung des zuletzt an die Stellglieder ausgegebenen Stromwerts bei Feststellung der Übereinstimmung vorgesehen sind.

7. Anordnung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, die Brennstoffzellen-Steuereinheit (2) eine Anordnung zur abwechselnden Verwendung des am Brennstoffzellenausgang gemessenen Werts der Spannung und des aus der Kennlinie für einen berechneten Stromwert ausgelesenen Spannungswerts für die Bildung eines Divisors für die Berechnung eines jeweils neuen Stromwerts mit dem iterativen Verfahren enthält.

8. Anordnung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass in einer Gewichtungseinrichtung (18) der zum jeweiligen Zeitpunkt aus der Kennlinie entnommene Wert der Ausgangsspannung und der gemessene Wert der Spannung je mit einem Kennlinien-Gewichtungsfaktor und mit dessen Differenz von eins multipliziert werden und dass das Ergebnis als Divisor einer Dividiereinrichtung (17) zugeführt wird, deren Divident die angeforderte Leistung ist.

9. Anordnung nach zumindest einem der Ansprüche 6 bis 8, gekennzeichnet durch die Verwendung in einer mobilen Einrichtung.

---

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

---

P037152/DE/1

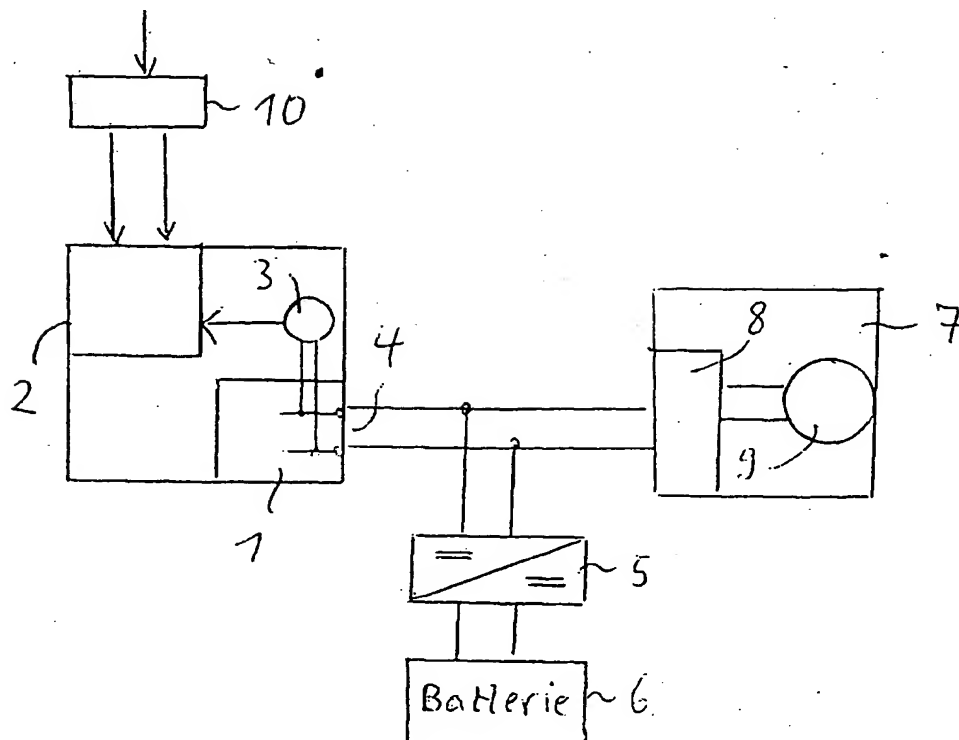


Fig. 1

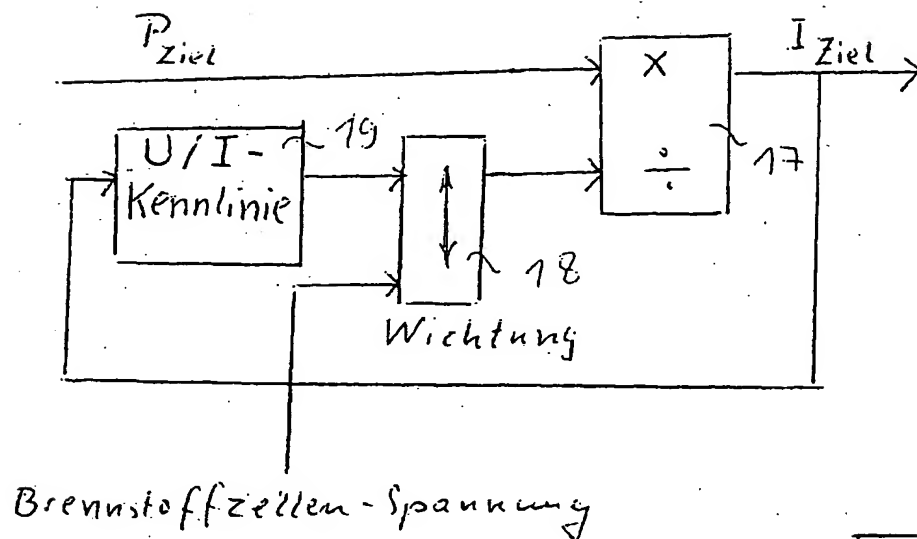


Fig. 2

P037152/DE/1

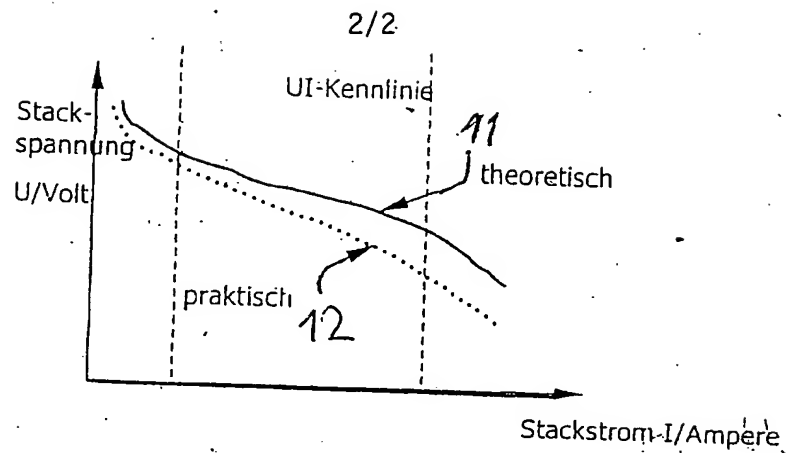


Fig. 3

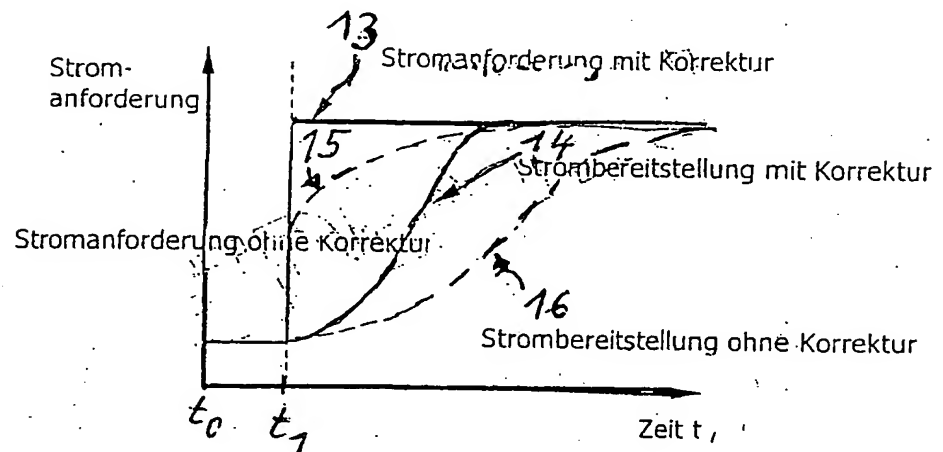


Fig. 4